

Drahtmarkierung der pulmonalen Rundherde

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae
(Dr. med.)
im Fach Medizin

eingereicht an der
Medizinischen Fakultät der Charité Berlin
Universitätsmedizin Berlin

von
Frau Semin Berzeg
geboren am 20.10.1975 in Istanbul

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin:
Prof. Dr. Christoph Marksches

Dekan der Medizinischen Fakultät der Charité Berlin:
Prof. Dr. med. Martin Paul

Gutachter:

1. Prof. Dr. Bernd Hamm
2. Priv.-Doz. Dr. Jens Rodenwaldt
3. Prof. Dr. R.P. Spielmann

eingereicht am: 19. Januar 2005
Tag der mündlichen Prüfung: 6. Januar 2006

Abstract

With the increasing use of multi-slice computed tomography (MSCT) pulmonary nodules are more often detected. The propose of our study was to evaluate use of the computed tomography guided spiral-wire localization before video-assisted thoracoscopic surgery (VATS). 54 patients with pulmonary nodules underwent ct-guided application of a spiral-wire lung localization-set (Somatom, Berlin, Germany). The average age was 58 years, the mean distance between the nodule and the visceral pleura was 7,9 mm and the mean diameter was 13,1 mm. Following this procedure, the patients underwent a VATS resection. In all patients the placement of the spiral-wire was succesful without any dislocation. The major complications were: Asymtomatic pneumothorax, local bleeding and in 3 patients a combination of local bleeding and a minor pneumothorax. In conclusion wire localization of peripheral pulmonary nodules is a safe and effective procedure to assist VATS resection.

Keywords:

pulmonary nodule, spiral-wire, computer tomography(CT), localization

Zusammenfassung

In der Studie wurde die Drahtmarkierung als Operationshilfsmethode vor der VATSvideo-assistierten Thorakoskopie bei der Abklärung von solitären pulmonalen Rundherden untersucht. Mit dieser Methode konnte der Lungenherd exakt markiert und transthorakal fixiert werden. Intraoperativ wurde der am Draht hängende Herd mit dosierter Kraft nach außen gezogen, endoskopisch verifiziert und komplikationslos entfernt. Bei der Drahtmarkierung wurden drei verschiedene Drähte benutzt, der größte Teil der Markierungen wurde mit dem Somatex-Lokalisationsset 18 G Spiraldraht durchgeführt. Bei 3 Patienten wurde ein minimaler Pneumothorax, bei 5 Patienten eine geringe Einblutung und bei 2 Patienten ein großer Pneumothorax (>1 cm) und bei 3 Patienten beide Komplikationen festgestellt. Bei keinem Patienten war eine Dislokation des Drahtes aufgetreten. Chirurgen und Radiologen teilen die Meinung, dass der Spiraldraht patientenkomfortabel, treffsicher anwendbar und zukunftssträftig ist. Die kombinierte Anwendung von Herdfixation mittels Spiraldraht und videothorakoskopischer Entfernung von Lungenherden ist für pleuraferne und daher oberflächlich nicht sichtbare Lungenherde empfehlenswert.

Schlagwörter:

pulmonale Rundherde, Spiraldraht, Computertomographie, Lokalisation

Widmung

Ich möchte meine Dissertation meinen Eltern widmen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Allgemeines	1
1.1	Definition des Begriffes „Rundherd“	2
1.2	Unser Ansatz zur Diagnose von pulmonalen Rundherden	4
1.3	Die Rolle der Drahtmarkierung als Operationshilfsmethode	5
1.4	Offene Thorakotomie	6
1.4.1	Historie	6
1.4.2	Operatives Verfahren	6
1.4.3	Postoperative Komplikationen	7
1.5	Videoassistierte thorakoskopische Chirurgie VATS	7
1.5.1	Geschichte der VATS	8
1.5.2	Ablauf der VATS	8
1.5.3	Vorteile der VATS	10
1.5.4	Nachteile der VATS	10
1.6	Perkutane Punktion	11
2	Zielstellung: Indikation und Grenzen der Methode	13
3	Material und Methoden	14
3.1	Lammstudie	14
3.2	Die Rolle der Drahtmarkierung (DM) als Operationshilfsmethode	19
3.2.1	Drahttypen	19
3.2.2	Durchführung des Eingriffes	20
3.3	Patientenstudie	21
4	Ergebnis	24
5	Diskussion	26

Abbildungsverzeichnis

1.1	Flussdiagramm des klinischen Managements eines solitären pulmonalen Rundherdes	5
1.2	Seitenlagerung des Patienten, Dorsalansicht. Posterolaterale Thorakotomie	7
1.3	Skizze einer VATS	10
3.1	Koronare Bildebene mit platzierten Drähten (im Weichteilfenster)	15
3.2	Koronare Bildebene mit platzierten Drähten (im Knochenfenster)	15
3.3	Sagittale Bildebene mit platzierten Drähten (im Weichteilfenster)	16
3.4	Die verschiedene Drähte (im Knochenfenster)	16
3.5	In die Lammleber platzierter Spiraldraht	17
3.6	In die Lammleber platzierter Ankerdraht	17
3.7	In die Lammleber platzierter Mammamarkierungsdraht	18
3.8	Rekonstruktionstechnik im Mehrschicht-CT: MIP aus einer 2 cm dicken Schicht	19
3.9	Somatex Lungen-Marker-System (Spiraldraht)	19
3.10	Ankerdraht-Fixierungsteil von Somatex	20
3.11	X-Reidy Breast Localization Needle	20

Kapitel 1

Einleitung, Allgemeines

Lungenkarzinome sind bei Frauen und Männern die häufigste Ursache aller malignitätsbedingten Todesfälle in den Industrieländern. Die 5-Jahres-Überlebenszeit beträgt insgesamt 14 %, liegt jedoch für Primärtumore unter 3 cm Größe und ohne Lymphknotenbefall bei 75 bis 80 % [8].

Ein Knoten in der Lunge stellt den Patienten und den behandelnden Arzt vor die Frage, ob es sich um ein Karzinom oder eine Metastase handeln könnte. Neue Entwicklungen in der radiologischen Detektion und Diagnostik geben Anlass zur Hoffnung, dass sich zukünftig mehr Karzinome in frühen Stadien entdecken lassen. Weiterentwicklungen in der Tumormarkierung können dazu beitragen, dass die Resektion von Tumoren weniger invasiv erfolgen kann.

Eine Vielzahl von diagnostischen Verfahren wird derzeit zur Abklärung des solitären Lungenrundherdes herangezogen. Neben der Kontrolle im Verlauf mittels Thoraxübersichtsaufnahmen sind invasive Verfahren wie die perkutane Feinnadelaspiration, bronchoskopische Lavage, thoroskopische Resektion und offene Operation mit Lobektomie oder Pneumektomie gebräuchlich. Eine definitive Diagnose der Pathologie des solitären Rundherdes ist Voraussetzung für eine adäquate Therapie. Bevor eine potentiell kurative chirurgische Maßnahme bei einem Patienten mit neu diagnostiziertem Karzinom ergriffen wird, muss eine Metastasierung ausgeschlossen werden.

Ziel der vorliegenden Studie ist die Bestimmung der Erfolgsrate, Sicherheit und potentieller Komplikationen der prä-operativen Drahtmarkierung von kleinen pulmonalen Rundherden. Verfügbare radiologische, chirurgische und pathologische Befundberichte wurden bei allen Patienten der Studie eingesehen. Die Patienten wurden unter Ausnutzung der Gantrykipfung so positioniert, daß ein optimaler Zugangsweg zur Läsion bei minimaler Eindringtiefe realisiert werden konnte. Die Lage des Markierungsdrahtes in Relation zum Herdbefund wurde computertomographisch dokumentiert und der Patient direkt im Anschluss in den Operatiossaal gebracht.

1.1 Definition des Begriffes „Rundherd“

„Als Rundherd der Lunge wird ein solitärer, in den drei Raumebenen annähernd kugelförmig gestalteter Infiltrationsbezirk bezeichnet, der im Lungengewebe gelegen ist. Die Konturen sind meist glatt; gegen das ihn allseits umgebende Lungengewebe ist der Herd gut abgegrenzt.“[70].

Pulmonale Rundherde gehören zu den häufigsten pulmonalen Herdbefunden. Vaskuläre Prozesse oder atelektatische Lungenareale können rundherdähnliche Befund hervorrufen. Für viele Erkrankungen stellt der Befund eines „Rundherdes“ jedoch nur eine Variante in der Palette möglicher morphologischer Erscheinungsbilder dar. Die Differentialdiagnose des solitären pulmonalen Rundherdes umfasst im Wesentlichen Granulome (>40 %) und Hamartome (6 %) einerseits, maligne Tumoren (40%, davon 2/3 Bronchialkarzinome) und Metastasen (5 %) andererseits. Bei rundherdähnlichen Herdbefunden sind Zusatzbefunde wie Pleuraverdickungen, Gefäßbeziehung, Einschmelzungen, Kontrastmittelverhalten oder Begleitbefunde diagnostisch wegweisend [20].

Aus älteren großen Screening-Untersuchungen mittels Röntgen-Thorax ist bekannt, dass singuläre pulmonale Rundherde in 0,9 bis 2 von 1000 durchgeführten Aufnahmen diagnostiziert werden [70],[20]. In aktuellen Screening-Untersuchungen mittels Computertomographie hingegen konnten singuläre pulmonale Rundherde bei Rauchern in 23-51 % gefunden werden [13],[6]. Diese Zahlen lassen deutlich werden, dass allein durch die Verbesserung der Diagnostik der Lunge mittels Computertomographie die Zahl der entdeckten pulmonalen Rundherde drastisch gestiegen ist und in der Literatur zwischen 5 und 69 % schwankt, je nach eingesetztem diagnostischen Verfahren.

Durch die Einführung der Mehrschicht-Spiral-CT mit der Möglichkeit, in einem Atemstillstand den gesamten Thorax mit einer Schichtdicke von 0.5 bis 1 mm zu untersuchen, ist die Detektionsrate von Rundherden noch einmal erhöht worden [38], [15], [34], [51] insbesondere auch durch den Einsatz von Computerprogrammen zur automatischen Detektion pulmonaler Rundherde (CAD-Systeme). Die rasante technische Entwicklung mit Verbesserung der Erkennbarkeit von Rundherden in Millimeter-Größenordnung hat nicht gleichzeitig zu einer Verbesserung der Charakterisierung der entdeckten Rundherde geführt.

Damit steht der Diagnostiker vor dem Problem der Relevanz der gefundenen Rundherde, zumal mehr als zwei Drittel der gefundenen Rundherde Granulomen im Rahmen einer Sarkoidose, Tuberkulose, Histoplasmose oder Coccidioidomycose entsprechen [13] und somit als gutartige Befunde keiner weiteren chirurgischen Therapie bedürfen. Hinzu kommen alle weiteren gutartigen Entitäten wie Hamartome, AVMalformationen, Lipome und viele mehr, welche ebenfalls häufig vorkommen und keine unmittelbare therapeutische Relevanz besitzen. Bekannt ist, dass bei 50 % der Patienten mit einem bekannten singulären pulmonalen Rundherd unter Einsatz eines besseren diagnostischen Verfahrens multiple pulmonale Rundherde gefunden werden [6].

Differentialdiagnosen

Maligne Rundherde:	Benigne und semimaligne Rundherde:	Entzündliche Rundherde	Raritäten:
<ul style="list-style-type: none"> -Bronchialkarzinom -Metastasen -Sarkome -Lymphom -Teratom 	<ul style="list-style-type: none"> -Hamartom -Chondrom -Bronchialadenom -Mesotheliom -Fibrom 	<ul style="list-style-type: none"> -Tuberculom -Pneumonien (Pseudotumor) -Abszesse -Eosinophile Infiltrate -Echinokokkus -Silikom -Wegener Granulom 	<ul style="list-style-type: none"> -Thymom -Plasmozytom -Rundatelektase -Lungeninfarkt

1.2 Unser Ansatz zur Diagnose von pulmonalen Rundherden

Der hohen Anzahl gutartiger pulmonaler Rundherde steht die Tatsache gegenüber, dass die Entwicklung eines Lungenkarzinoms häufig über die Ausbildung eines pulmonalen Rundherdes erfolgt [36], welchen es rechtzeitig zu entdecken und chirurgisch zu entfernen gilt, da die Prognose des Lungenkarzinoms entscheidend vom Stadium bei Diagnosestellung abhängt [37]. Mehrere Kriterien sind inzwischen definiert worden mit dem Ziel, die Charakterisierung im CT gefundener pulmonaler Rundherde zu verbessern, im Wesentlichen zählen heute dazu der Nachweis von:

- Verkalkungen
- Verfettungen
- Dichtanhebung im Kontrastmittel-CT von weniger als 15 Hounsfield-Einheiten
- Größenstabilität über zwei Jahre

als Zeichen der Gutartigkeit pulmonaler Rundherde. Auch die Größe eines Rundherds hat Einfluss auf die Malignitäts-Wahrscheinlichkeit: kleine Herde sind häufiger gutartig als große. Nicht-verkalkte Rundherde von 1 cm Durchmesser sind in 64-92 % gutartig [10], [71]. Maligne Rundherde finden sich häufiger in den Oberlappen, gutartige Rundherde sind gleichmäßig über die Lappen verteilt [73]. Zahlreiche weitere morphologische Kriterien wurden auf ihr Potenzial geprüft, die Unterscheidung zwischen Gut- und Bösartigkeit zu verbessern, jedoch bisher ohne bahnbrechenden Erfolg [72]. Die video-assistierte thorakoskopische Resektion stellt heute in der Hand des thoraxchirurgisch erfahrenen Operateurs ein sicheres Werkzeug mit diagnostischer und therapeutischer Indikation dar. Der technische Erfolg wird durch eine präoperative Lokalisation mittels Drahtmarkierung verbessert. Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit ist die Voraussetzung für eine optimierte Diagnostik und Therapie solitärer pulmonaler Rundherde und damit auch für ein erfolgreiches klinisches Management dieser häufigen Entität. Bekannt ist, dass bei 50 % der Patienten mit einem bekannten singulären pulmonalen Rundherd unter Einsatz eines besseren diagnostischen Verfahrens multiple pulmonale Rundherde gefunden werden [6].

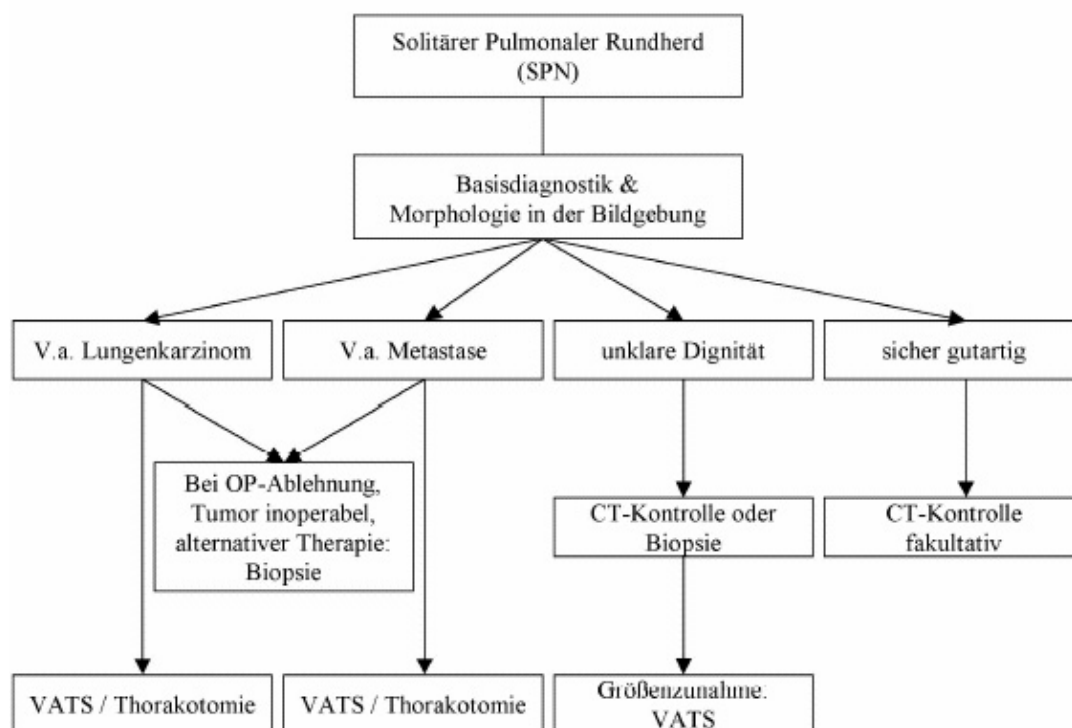


Abbildung 1.1: Flussdiagramm des klinischen Managements eines solitären pulmonalen Rundherdes

1.3 Die Rolle der Drahtmarkierung als Operationshilfsmethode

Jeder neu aufgetretene Rundherd (RH) muss als potentiell maligne angesehen werden. Statistiken zeigen, dass etwa 50 % aller solitären und 2/3 aller multiplen Rundherde maligne sind. Gerade die schlechte Prognose des Bronchialkarzinoms verlangt eine frühzeitige, wenn notwendig invasive Diagnostik [18]. Obwohl eine CT-gesteuerte Lungenpunktion bei allen im CT detektierbaren Herden angestrebt werden sollte, ist der Erfolg dieser Biopsie von der Größe des zu biopsierenden Rundherdes abhängig. Speziell wenn der betreffende Herd nur wenige Millimeter groß ist, kann die Biopsie schwierig und das so gewonnene Material oftmals für die histologische Aufarbeitung nicht geeignet sein, weil es unrepräsentativ ist [33], [41].

In Fällen wie diesem, oder falls schon eine vorausgegangene Biopsie kein diagnostisch verwertbares Gewebe geliefert hat, ist eine CT-gesteuerte Drahtmarkierung zur transthorakoskopischen Resektion sinnvoll [78].

Ebenso tendieren Chirurgen bei neu entdeckten solitären intrapulmonalen Herden, welche sich nicht nach bildmorphologischen Kriterien als benigne differenzieren lassen, zur voll-

ständigen Tumorentfernung. Unter der Prämisse einer möglichst wenig invasiven Methode kommt hierbei in der Regel die VATS-Technik zur Anwendung [23].

Ein Problem für den minimal-invasiv arbeitenden Thoraxchirurgen bleibt die intraoperative Lokalisation des Rundherds, da die manuelle Palpation hier nicht möglich ist. Falls der Rundherd keine Veränderungen an der Pleura visceralis verursacht, kann er nur instrumentell „getastet“ werden, was nur sehr selten eine sichere Lokalisation insbesondere kleiner Rundherde ermöglicht [44].

In den letzten Jahren hat sich deshalb die CT-gesteuerte transthorakale Drahtmarkierung als sicheres Mittel der intraoperativen RH-Lokalisation bei den thorakoskopischen Resektionen etabliert [78].

Im Folgenden möchten wir von unseren Erfahrungen und Ergebnissen bei der CT-gesteuerten perkutanen Markierung von Lungenrundherden zur präoperativen Vorbereitung der VATS berichten.

1.4 Offene Thorakotomie

1.4.1 Historie

Bis zum Beginn dieses Jahrhunderts war die Lunge ein von den Chirurgen gemiedenes Feld. Mit der Entwicklung der Thoraxchirurgie, zunächst durch Sauerbruch mit der umständlichen Unterdruckkammer, später mit der Überdruckbeatmung, war der Weg zu den Thoraxorganen ohne die Gefahr des tödlichen Lungenkollapses frei.

1950 haben Klassen et al [39] die offene Lungenbiopsie bei zerstreutherdigen pulmonalen Erkrankungen beschrieben, die im Röntgenbild aufgefallen waren und oft nur mit geringfügiger oder fehlender Symptomatik einhergingen.

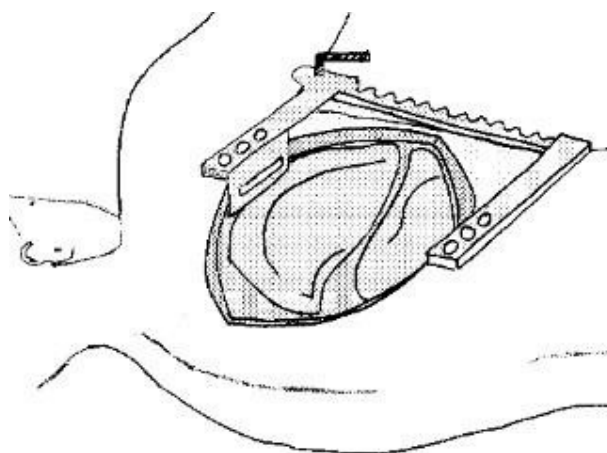
1.4.2 Operatives Verfahren

Bei Seitenlagerung des Patienten bieten sich verschiedene Schnittführungen an:

Antero- oder posterolaterale, axilläre, anteriore und posteriore Thorakotomie. Meist wird die Pleurahöhle im 4. und 5. Interkostalraum eröffnet. Nach jeder Thorakotomie werden 1-2 Drainagen in die Pleurahöhle eingelegt. Ziel der Drainagen ist es, Sekret, Blut und austretende Luft zu drainieren und die Wiederausdehnung der Lunge zu ermöglichen. In der Regel werden sie zwischen dem 2. und 5. postoperativen Tag entfernt.

- Probethorakotomie: Eröffnung der Brusthöhle bei unklaren Diagnosen oder zur Überprüfung der Operabilität eines bösartigen Tumors.
- Pneumonektomie: Entfernung eines Lungenflügels bei zentral sitzenden Karzinomen, bei fortgeschrittener Tuberkulose oder ausgedehnter Bronchiektasie. Die Indikation zur Pneumonektomie ist wegen der erheblichen Reduktion der Atemfläche streng zu stellen. Die leere Pleurahöhle füllt sich mit Exsudat auf (Serofibrothorax). Durch Schrumpfungstendenz besteht die Gefahr der Mediastinalverziehung und Rechts-herzbelastung.

- Lobektomie: Resektion eines Lungenlappens. Verschluss des Bronchusstumpfes mit Klammernahtgeräten (Stapler) nach Lobektomie und Pneumonektomie.



Offene Thorakotomie

Abbildung 1.2: Seitenlagerung des Patienten, Dorsalansicht. Posterolaterale Thorakotomie

<http://www.siumed.edu/surgery/cardiotor/clinical/lungcanc.html>

1.4.3 Postoperative Komplikationen

Die Patienten sind postoperativ vor allem durch eine respiratorische und kardiale Insuffizienz gefährdet. Folgende Komplikationen sind nach Thorakotomie besonders zu beachten und erfordern entsprechende intensivmedizinische Maßnahmen:

- Atelektasen, Sero-, Hämato-, Pneumothorax, Bronchusstumpfsuffizienz
- Herzrhythmusstörungen, Herzinsuffizienz [57].

1.5 Videoassistierte thorakoskopische Chirurgie VATS

Der Patient muss für eine VATS bestimmte Voraussetzungen erfüllen:

Er muss eine Ein-Lungen-Ventilation während des Eingriffes tolerieren, analog muss die Erfahrung mit der Doppellumenintubation seitens der Anästhesie vorhanden sein. Wie vor jedem thoraxchirurgischen Eingriff ist neben der funktionellen auch die technische und kurative Operabilität zu überprüfen. Daraus ergibt sich dann die Operationsstrategie. Im Falle eines Rundherdes kann dies das gesamte Spektrum zwischen rein diagnostischer Thorakoskopie bis zu anatomischen Standardeingriffen der Thoraxchirurgie betreffen. Als unabdingbare Voraussetzung eines thorakoskopischen Eingriffes muss auch die suffiziente Erfahrung in der konventionellen Thoraxchirurgie gelten, denn bei jedem videoassistierten Eingriff kann sich die Notwendigkeit einer Konversion zur Thorakotomie ergeben.

1.5.1 Geschichte der VATS

Das Interesse an der endoskopischen Chirurgie nahm erst zu Beginn der 80-er Jahre durch die erste erfolgreiche laparoskopische Appendektomie 1982 von Semm [35] und die erste laparoskopische Cholezystektomie 1987 von Mouret [50] zu. Durch die Einführung der Videotechnik erlebt die minimal-invasive Chirurgie seit dieser Zeit eine fast revolutionäre Entwicklung. Dem Schweizer Chirurgen Rolf Interbitzi gebührt als einer der ersten europäischen Chirurgen der Verdienst, die therapeutischen Möglichkeiten der endoskopischen Thoraxchirurgie erkannt und die Videotechnik eingeführt zu haben. Als mögliche Vorteile der minimal-invasiven Technik werden eine geringe postoperative Schmerzintensität, ein verkürzter postoperativer Krankenhausaufenthalt, sowie ein befriedigenderes kosmetisches Ergebnis postuliert [58]. Die ersten Ansätze der videoassistierten Thoraxchirurgie (VATS) gehen auf den schwedischen Internisten H.C. Jacobaeus zurück. Er veröffentlichte bereits im Jahre 1910 den Artikel „Über die Möglichkeit, die Zystoskopie bei Untersuchungen seröser Höhlungen anzuwenden“ [26]. Bereits 1925 hatte Jacobaeus in über 100 Fällen mit dieser Methode Tumore inspiziert und maligne oder benigne Pleuraergüsse diagnostiziert [27].

1.5.2 Ablauf der VATS

Im Vorfeld der Operation wird durch genaue Analyse der radiologischen Untersuchungsergebnisse die Strategie des Eingriffes festgelegt. Die VATS wird in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Die Seitenlagerung des Patienten ist die bevorzugte Patientenlagerung während eines thorakoskopischen Eingriffes. Sie ermöglicht eine problemlose Darstellung der Thoraxhöhle und eine ungehinderte Beweglichkeit der Instrumente. Nach chirurgischer Hautdesinfektion und steriler Abdeckung des Operationsfeldes erfolgt entsprechend der Lokalisation des intrathorakalen Befundes die Platzierung der Zugänge. Nach Inspektion der Pleurahöhle werden unter thorakoskopischer Kontrolle die übrigen Instrumentierkanäle eingeführt.

Die endoskopische Exploration ist obligat. Die Drainagen werden unter thorakoskopischer Sicht durch die vorhandenen Inzisionen eingebracht.

Zur Grundausrüstung der VATS gehört der Trokar. Die Trokarhülsen haben an ihrem hinteren Ende eine Klappe, die den Druckausgleich zwischen der Außenluft und dem Brustkorbinnenraum verhindert. Über die Trokare, die einen Durchmesser von 5, 10 und 12 mm haben, werden alle weiteren Instrumente und die Optik durchgeführt. In der Regel werden drei Trokare unterschiedlichen Durchmessers benutzt.

Schwerwiegende Komplikationen bei der Anwendung der videoassistierten thorakoskopischen Chirurgie sind selten. Mit zunehmender Erfahrung des Operateurs wird die in erster Linie bestehende Gefahr der versehentlichen Verletzung intrathorakaler Strukturen durch Einbringen der Trokare oder durch Manipulation im Thorax deutlich geringer. In der Literatur wird über postoperativ persistierende Pneumothoraces, Hämatothoraces, Pleuraempyeme, Tumorverschleppungen bei Präparatebergung und Hautempyeme berichtet [62], [66], [9].

Die Thorakoskopie kam im Zusammenhang mit Operationen am vegetativen Nervensystem und bei Pleuraerkrankungen zum Einsatz [47]. Dennoch waren die Eingriffe zunächst auf einfache Manöver beschränkt, da nur der Operateur über das starre Endoskop Einblick in die Thoraxhöhle hatte. Neben geraden Instrumenten werden solche verwendet, welche im vorderen Teil um 45° gegenüber der Längsachse abgewinkelt sind. Hierdurch wird ein optimaler Bewegungsradius erzielt, der es gestattet, in dem gewölbten und starren Thorax jeden Bereich instrumentell zu erreichen. Eingeführt werden diese abgewinkelten Instrumente über flexible Trokarhülsen, welche sich durch ihre ovale Form dem schmalen Interkostalraum anpassen. Der luftdichte Verschluss bei Lungenparenchymresektionen wird durch eine Nahtmaschine erreicht, welche beidseits zweireihig klammern und das Parenchym beim gleichen Arbeitsgang dazwischen durchtrennen kann - sogenannte Endostapler (in unserer Studie mittels Endo GIA).

Die Ursache für die geradezu stürmische Entwicklung der Thorakoskopie in den letzten Jahren ist die Einführung der Videotechnik (videoassistierte Thoraxchirurgie= VATS), sowie trokargängiger Klammernahtgeräte. Die Miniaturisierung des Linearstaplers ermöglicht nun Parenchymverschluss und -durchtrennung in einem Arbeitsgang selbst bei größeren Lungenabschnitten [75]. Die technischen Verbesserungen ermöglichen eine Erweiterung des Einsatzspektrums der VATS. Neben Eingriffen im Mediastinum und an der Pleura wird die VATS vor allem bei Diagnose und Therapie parenchymatöser Lungenerkrankungen immer häufiger eingesetzt.

Eine allgemein akzeptierte Indikation für die VATS ist die Abklärung von solitären pulmonalen Rundherden und die Therapie des Pneumothorax. Um die videoassistierte thorakoskopische Chirurgie erfolgreich anzuwenden, ist es erforderlich, die Indikationen und Grenzen dieser endoskopischen Technik zu kennen. Im Rahmen der Diagnostik von peripheren Rundherden kann durch die Gewinnung von histologisch auswertbarem Material auf eine offene Thorakotomie verzichtet werden. Bei benignen Befunden bietet die VATS bei technisch relativ geringem Aufwand die Möglichkeit, in kurzer Zeit eine definitive operative Versorgung durchzuführen. Bei Metastasenbefunden in der Schnellschnittuntersuchung stellt sich die Frage des ausschließlich thorakoskopischen Vorgehens. Dem stehen folgende Punkte entgegen:

Tief im Parenchym liegende Rundherde werden technisch nicht erreicht, der Chirurg besitzt keine Palpationsmöglichkeit.

Allerdings haben moderne Hilfsmethoden wie die Drahtmarkierung der pulmonalen Rundherde eine gleich große Treffsicherheit wie der intraoperative Tastbefund.

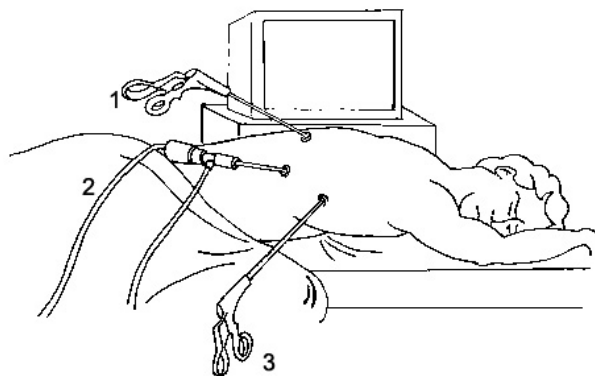


Abbildung 1.3: Skizze einer VATS

1. Dorsaler Instrumentierkanal: in der hinteren Axillallinie
2. Kamera
3. Ventraler Instrumentierkanal: in der vorderen Axillallinie

<http://www.siumed.edu/surgery/cardiothor/clinical/lungcanc.html>

1.5.3 Vorteile der VATS

Durch die verminderte Traumatisierung des Thorax bei der VATS kommt es neben einer geringeren Gefahr der Verletzung der Interkostalararterien oder der Fraktur von Rippen zu einer deutlichen Verringerung der Schmerzbelastung im Vergleich zur konventionellen Thorakotomie [3], [46]. Der Schmerzmittelverbrauch kann herabgesetzt werden, er ist sogar bis auf ein Drittel reduzierbar [2].

Auch längerfristig bietet die VATS erhebliche Vorteile seitens der Lungenfunktion. Durch die erheblich geringeren postoperativen Schmerzen ist auch die Gefahr einer schmerzbedingten Atemhemmung vermindert. Das Abhusten von Sekret ist leichter möglich. Dies und die sparsame Durchtrennung der Atemhilfsmuskulatur verringern die im Vergleich zur Thorakotomie oft entstehenden Komplikationen, die von Sekretion bis hin zur Atelektase und Bronchopneumonie reichen [74], [22].

Die häufigste Komplikation bei den Thorakotomien stellte dabei die Wundinfektion dar. Durch das geringe Zugangstrauma bei endoskopischen Verfahren wurde diese Komplikation deutlich verringert [81]. Durch die minimal invasive Operationsform kann die Dauer des Krankenhausaufenthaltes verkürzt werden [81], [1].

Daher bietet dieses Operationsverfahren eine hohe Effizienz bei geringer Morbidität und ist im Vergleich zur offenen Thorakotomie deutlich kosteneffektiv.

1.5.4 Nachteile der VATS

Eine videoassistent durchgeführte atypische Resektion ist an die Bedingung geknüpft, dass das zu resezierende Lungenparenchym relativ weit peripher liegt [63].

Aufgrund des üblichen kleinen Zugangswegs zum Thorax muss zur Bergung größerer Parenchymabschnitte häufiger eine Schnitterweiterung durchgeführt werden. Es ergibt sich bei der Bergung maligner Prozesse eine große Gefahr von Impfmetastasen.

Laut Willard et al. [1] entwickelte ein Patient fünf Monate nach einer videoassistiertthoraxchirurgisch durchgeführten atypischen Resektion eines Adenokarzinoms ein Thoraxwandrezidiv an der Stelle, an der der Tumor geborgen wurde. Intraoperative Komplikationen sind vor allem Blutungen aus dem Lungenparenym. Sie werden mittels Clips oder mit dem Laser gestillt. Verletzungen von größeren Gefäßen erfordern ein Umsteigen auf die offene Thorakotomie, ebenso Klammerdefekte der Endostapler.

Nachblutungen innerhalb von 24 Stunden, welche zur Reintervention zwingen, kommen in ca. 2 % vor. Persistierende Lungenfisteln sind in etwa 2 % Ursache für eine Rethorakotomie. Ebenso oft sind zusätzliche Drainagen erforderlich. Infektionen sind mit unter 1 % relativ selten [57].

Die Komplikationsrate wird bei thorakoskopischen bzw. videoassistierten Eingriffen mit $<2 - <4$ % angegeben [63], [43].

McKenna [60] und Downey [65] kommen mit verschiedenen Studien zu dem Ergebnis, dass die thorakoskopische Chirurgie die gleichen Ergebnisse hinsichtlich postoperativer Komplikationen erwarten lässt wie sie aus der konventionellen Thoraxchirurgie bekannt sind.

1.6 Perkutane Punktion

Die CT-gestützte perkutane Lungenpunktion ist ein allgemein gebräuchliches Verfahren zur Gewinnung von Material für eine zytologische oder histologische Aufarbeitung von intrapulmonalen Rundherden. Dieses Biopsie-Verfahren bietet eine hohe Effizienz bei geringer Morbidität [29], [77]. Die Sensitivität perkutaner Punktionen hängt von zahlreichen Faktoren ab wie Größe des Rundherdes, Lage und damit Erreichbarkeit sowie Kooperationsfähigkeit des Patienten, nicht zuletzt aber auch von den technischen Voraussetzungen (CT-Durchleuchtung) und der Erfahrung des Radiologen. Die Sensitivität liegt bei 92,2 %, die Spezifität bei 99,1 % [48]. In unserem eigenen Patientenkollektiv konnten wir bei CTgestützten Punktionen pulmonaler Rundherde mittels Aspirationszytologie eine Sensitivität von 84,4 % erreichen. Die Aufarbeitung eines Aspirationskoagels erbrachte eine Sensitivität von 93,7 %, die Entnahme einer Stanze eine Sensitivität von 92,3 %. Wurden alle drei Entnahmetechniken in einer Punktion kombiniert (Feinnadelpunktion für Zytologie und Koagel, anschließend Punktion des gleichen Rundherdes mittels Stanzbiopsienadel), so konnten wir eine Sensitivität von 99,0 % erreichen. In der Hand eines erfahrenen Untersuchers ist die perkutane, CT-gestützte Punktion ein sicheres Verfahren mit einer hohen diagnostischen Aussagekraft. Zunächst blieben die Punktionen auf periphere intrapulmonale Herde beschränkt [48], [30]. Inzwischen werden zunehmend auch mediastinale und hiläre Raumforderungen biopsiert, insbesondere dann, wenn die transbronchiale Materialgewinnung missglückt [76], [31]. Durch die Gewinnung zytologisch, histologisch oder mikrobiologisch auswertbaren Materials können dem Patienten häufig

Probethorakotomien und Mediastinoskopien erspart werden. Gobien hat in seinem Patientengut durch Einsatz der Biopsie einen Rückgang der Probethorakotomien von 58 % auf 23 % nachgewiesen, verbunden mit einer erheblichen Kostenreduktion [68]. Kritisch jedoch ist der Einsatz der Punktion bei einem singulären pulmonalen Rundherd zu sehen: trotz der hohen diagnostischen Aussagekraft verbleibt ein - wenn auch geringes - Restrisiko eines falsch negativen Befundes. Des Weiteren muss im Falle des Nachweises maligner Zellen entschieden werden, ob ein primäres Lungenkarzinom oder eine Metastase eines anderen Primärtumors vorliegt. Eine solche Entscheidung kann an zytologischem Material schwierig zu treffen sein. Handelt es sich um ein primäres Lungenkarzinom, muss ohnehin eine chirurgische Resektion erfolgen. Die perkutane Punktion eines singulären pulmonalen Rundherdes hat demnach klinisch nur Sinn, wenn in Abhängigkeit vom zyto- oder histologischen Ergebnis eine nichtchirurgische Therapie als Behandlungskonzept in Frage kommt, der Patient eine Operation ablehnt oder in seltenen Fällen die OP-Fähigkeit nicht gegeben ist. Erlemann et al. haben mit der Lungepunktion-Studie (bei 149 Patienten) eine diagnostische Treffsicherheit von 86,7 % erzielt [55]. Die häufigste, wenn auch klinisch gut therapierbare Komplikation ist die Entwicklung eines Pneumothorax, welcher sich unmittelbar nach der Punktion als auch in extrem seltenen Fällen bis zu 24 Stunden später ausbilden kann [5]. Viele Faktoren beeinflussen die Häufigkeit eines Pneumothorax. Vor allem das Vorhandensein eines Lungenemphysems, die Länge der Punktionszeit, die Lokalisation des Herdes und die Nadelgröße bestimmen das Risiko. Im Durchschnitt wird die Häufigkeit mit 20,5 % angegeben, davon sind jedoch nur 3,1 % mittels Thoraxdrainage behandlungsbedürftig [80]. Hamoptysen treten in 5,3 % auf, die Letalität wird mit 0,15 % angegeben. In der Literatur sind weitere Komplikationen beschrieben, die eine Luftembolie, vor allem beim Anstich einer Pulmonalvene bei gleichzeitigem Überdruck in den Bronchien durch Beatmung oder Husten [5], [80], [28] eine Aussaat maligner Zellen im Stichkanal nach Punktion eines peripheren Bronchialkarzinoms [49] und eine pericardiale Tamponade [82] umfassen.

Kapitel 2

Zielstellung: Indikation und Grenzen der Methode

In dieser Studie untersuchten wir die Wertigkeit und Praktikabilität der CT-gesteuerten perkutanen Markierung mittels Spiraldrahtes im Vergleich zu anderen nicht lungengewebespezifischen Drähten zur Lokalisation solitärer pulmonalen Rundherde als Vorbereitung zur VATS.

Kapitel 3

Material und Methoden

3.1 Lammstudie

Vor einer Patientenstudie haben wir die Zugkräfte drei verschiedener Arten von Drähten verglichen. Mit Hilfe einer Federwaage wurde ein Zerreissversuch durchgeführt. Die drei verschiedenen Markierungsdrähte wurden 3 cm tief in einer Lammlunge platziert. Die Zugkraft des jeweiligen Markierungsdrahtes wurde mit einer Federwaage angemessen. Daraufhin bekamen wir folgende Resultate:

- Mammamarkierungsdraht: 200 mN
- Hakendraht: 300 mN
- Spiraldraht: 300 mN

CT-Bilder des Lammversuches

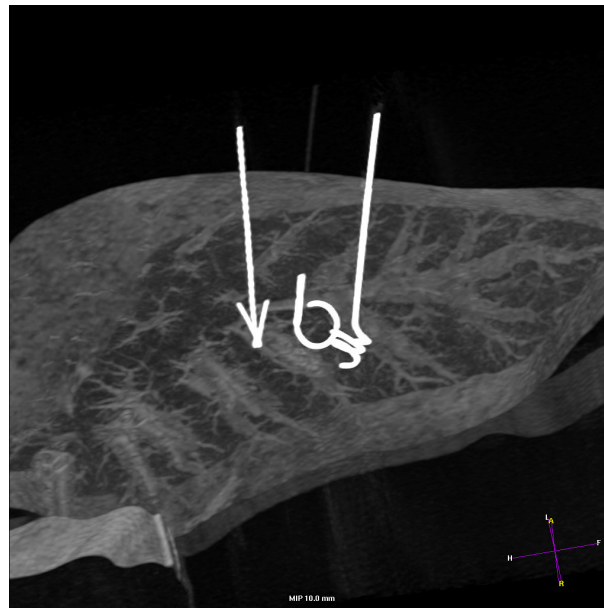


Abbildung 3.1: Koronare Bildebene mit platzierten Drähten (im Weichteilfenster)

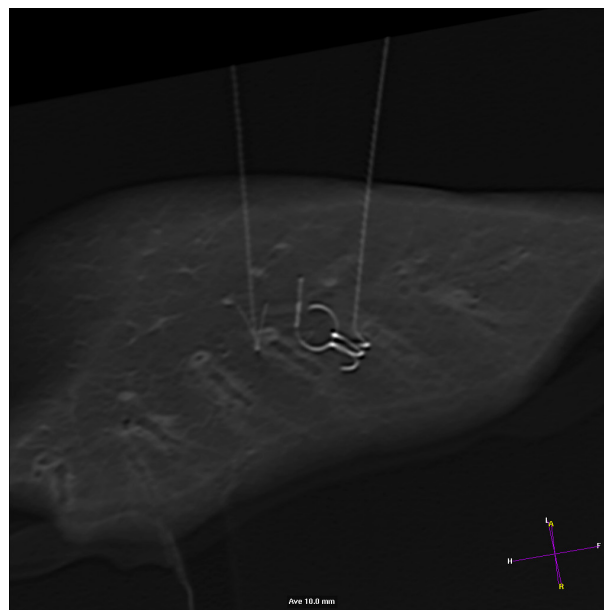


Abbildung 3.2: Koronare Bildebene mit platzierten Drähten (im Knochenfenster)

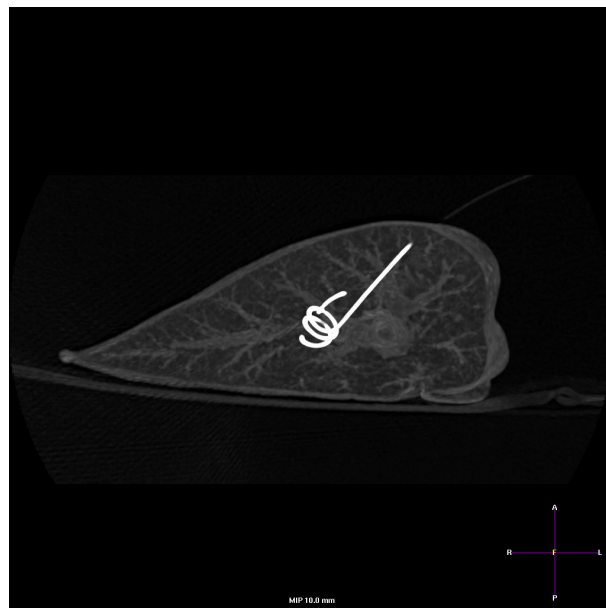


Abbildung 3.3: Sagitale Bildebene mit platzierten Drähten (im Weichteilfenster)

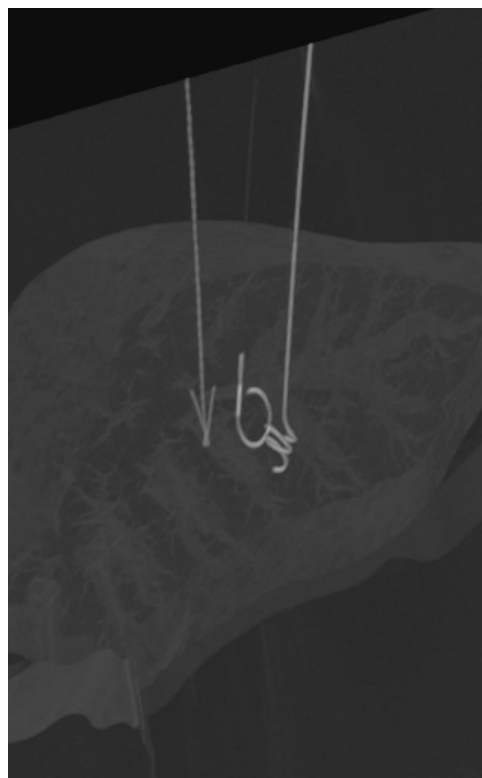


Abbildung 3.4: Die verschiedene Drähte (im Knochenfenster)

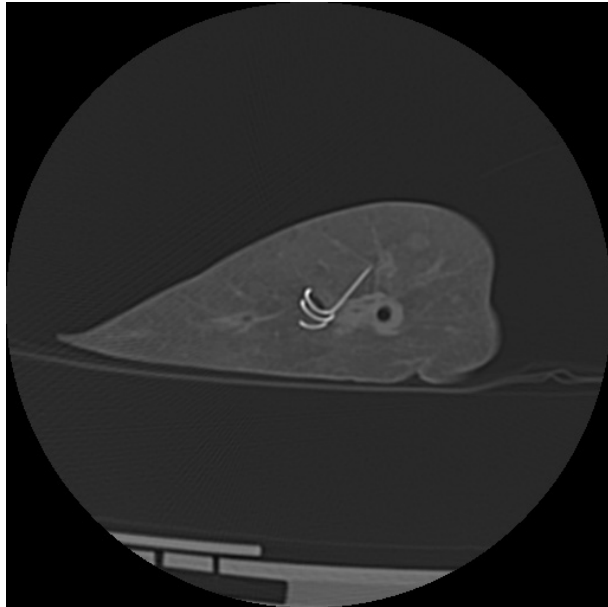


Abbildung 3.5: In die Lammleber platzierter Spiraldraht

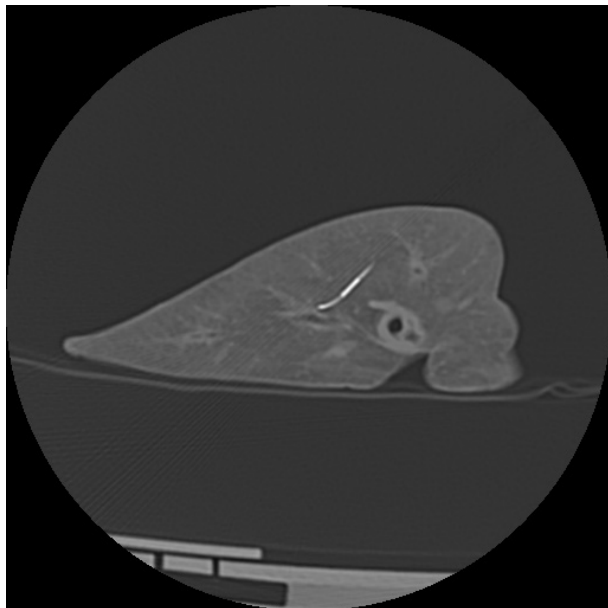


Abbildung 3.6: In die Lammleber platzierter Ankerdraht

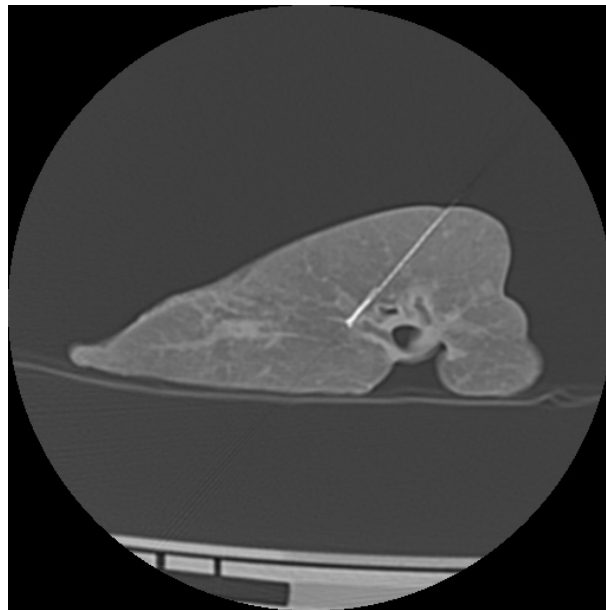


Abbildung 3.7: In die Lammleber platzierter Mammamarkierungsdraht

3.2 Die Rolle der Drahtmarkierung (DM) als Operationshilfsmethode

3.2.1 Drahttypen

1. Somatex Lungen-Marker-System (Spiraldraht)

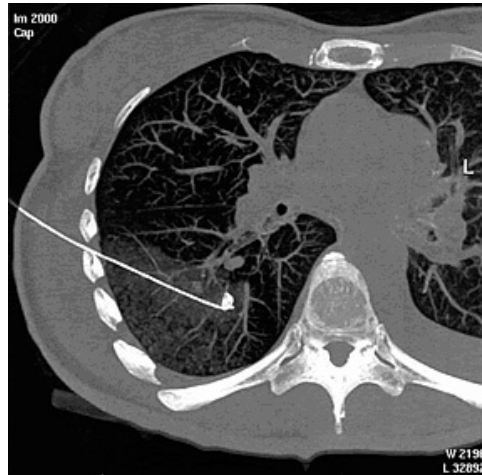


Abbildung 3.8: Rekonstruktionstechnik im Mehrschicht-CT: MIP aus einer 2 cm dicken Schicht

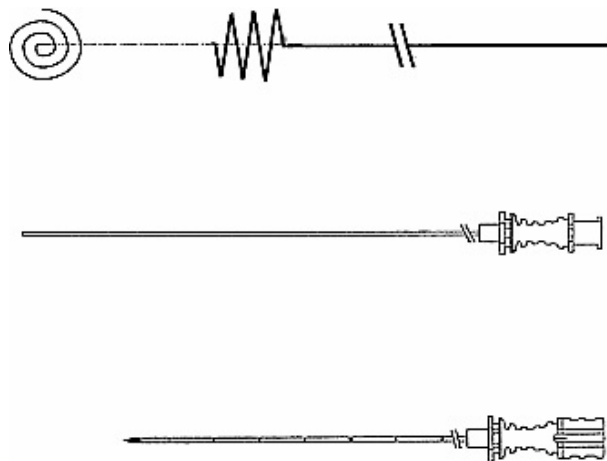


Abbildung 3.9: Somatex Lungen-Marker-System (Spiraldraht)

- Größe: 18 G
- Durchmesser: 1,20 mm
- Länge: 150 mm

2. Ankerdraht-Fixierungsteil von Somatex

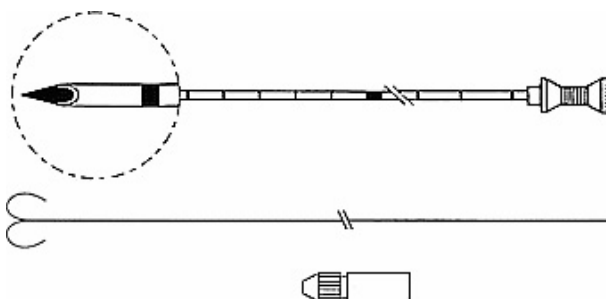


Abbildung 3.10: Ankerdraht-Fixierungsteil von Somatex

Die hakenförmigen Spitze des Drahtes ermöglicht eine Verankerung im Gewebe.

- Größe: 18 G
- Durchmesser: 1,20 mm
- Länge: 120 mm

3. X-Reidy Breast Localization Needle

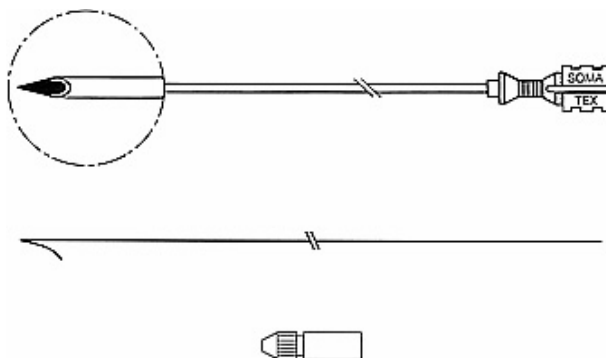


Abbildung 3.11: X-Reidy Breast Localization Needle

- Größe: 18 G
- Durchmesser: 1,29 mm
- Länge: 90 mm

3.2.2 Durchführung des Eingriffes

Das spezielle Markersystem für Lungenherde (Fa. Somatex) besteht aus einer angeschliffenen Nadel von 1,2 mm Durchmesser, die einen Draht enthält, der nach Entfaltung seine

vorgebogene Spiralform annimmt. Nach computertomographischer Lagekontrolle wird der Draht vorgeschoben und die Nadel zurückgezogen, um den Herd zu fixieren. Zuletzt wird die Inventionsfläche steril abgedeckt und der Patient in den Operationssaal transportiert.

3.3 Patientenstudie

Bisherige Erfahrungen umfassen (von 21.07.97 bis 11.06.04) 54 Patienten mit einem Altersdurchschnitt von 58,4 (7 bis 81) Jahren mit klärungsbedürftigen Lungeneinzelherden. Die Indikation für eine VATS war chirurgischerseits gegeben. In Abhängigkeit der Lage des abzuklärenden Herdes wurde der Patient zur Markierung in derjenigen Position gelagert, welche den kürzest möglichen Direktzugang zum Lungenherd erlaubte.

Unter Zuhilfenahme des CT-Gantry-Markierungs-Lasers, welcher auf die geeignete transthorakale Eintrittsstelle positioniert wurde, erfolgte die kutane Markierung des Zugangsweges mittels eines Filzstifts. Anschließend wurde das betreffende Hautareal desinfiziert, schließlich eine subkutane und kutane Injektion eines Lokalanästhetikum verabreicht.

Vor unserer Lammstudie hatten wir zwar zahlreiche Erfahrungen mit zwei weiteren Drahttypen, aber die mechanische Anpassung dieser Drähte zum Lungengewebe waren nicht optimal. In diesem Zusammenhang möchte ich kurz die anderen Drahttypen erwähnen:

- DXRBL-18-9.0: X-Reidy Breast Localization Needle von der Firma Somatex (Berlin, Germany; Gauge: 18, Länge: 9 cm)
- Ankerdraht-Fixierungsteil von der Firma Somatex (18 Gauge, Länge: 12 cm)

Wir haben zunächst mit unserem Lammversuch die bessere Lungengewebskompatibilität des spiralförmigen Lungen-Marker-Systems der Firma Somatex (Berlin, Germany; Gauge 18, Länge 150 mm) bewiesen.

Anschließend wurde dieser bei 54 Patienten benutzt. Bei keinem Patienten wurde eine Dislokation des Drahtes berichtet.

Bei diesem System wurde die Spitze des Spiraldrahtes unter Benutzung der eingebrachten Nadel und eines meist 18 G großen Führungskatheters so weit vorgeschoben, dass sie entweder in den Herd hineinragte oder ihn weiter distal berührte. Nach CT-dokumentierter korrekter Lage des Drahtes wurde der transthorakale Drahtabschnitt mittels einem Verband fixiert und der Patient in den Operationssaal verbracht. Die Thorakoskopie wurde in Allgemeinanästhesie und unter Verwendung eines Doppellumen-Tubus durchgeführt, der Patient in Seitenlage positioniert. Nach der Hautinzision wurde ein Optik-Kamera-System eingebracht und ein diagnostischer Rundblick durchgeführt. Mit Hilfe des intrapulmonal verlaufenden Markierungsdrahtes wurde der Rundherd von dem Chirurgen lokalisiert und anschließend mit Hilfe eines Endo-GIA II Staplers rezesiert. Daraufhin wurde bei allen Fällen eine Schnellschnittuntersuchung durchgeführt.

Tabellarische Patientenliste nach Durchführung der Drahtmarkierung

Untersuchungs- datum	Lokalisation	Histologie	Komplikation	Größe (mm) des Rundherdes
25.01.1999	Oberlappen rechts	Metastase	Pneumothorax	10
17.02.1999	Unterlappen rechts	Plattenepitelkarzinom	Pneumothorax Einblutung	5
04.03.1999	Oberlappen rechts	Neuroendokriner Tumor	Keine Komplikation	19
07.06.1999	Mittellappen	Anthrakose	Keine Komplikation	20
25.06.1999	Oberlappen rechts	Metastase	Keine Komplikation	20
05.07.1999	Oberlappen rechts	Hamartom	Pneumothorax	10
08.07.1999	Mittellappen	Fibrose	Keine Komplikation	20
06.09.1999	Mittellappen	Granulom	Pneumothorax	10
17.01.2000	Unterlappen rechts	Metastase	Einblutung	8
22.06.2000	Oberlappen links	Adenokarzinom	Keine Komplikation	8
09.10.2000	Oberlappen rechts	Granulom	Keine Komplikation	12
11.10.2000	Oberlappen rechts	Bronchialkarzinom	Keine Komplikation	10
01.03.2001	Oberlappen rechts	Adenokarzinom	Einblutung	5
28.05.2001	Oberlappen links	Bronchialkarzinom	Keine Komplikation	20
05.07.2001	Mittellappen	Hyalinose	Keine Komplikation	8
17.07.2001	Oberlappen rechts	Plattenepitelkarzinom	Pneumothorax	10
09.08.2001	Mittellappen und Unterlappen rechts	Antrakose	Keine Komplikation	2 u.10
28.08.2001	Unterlappen rechts	Granulom	Minimale Einblutung	6
12.09.2001	Unterlappen links	Lymphknoten, Fibrose	Minimaler Pneumothorax und Blutung	7
17.09.2001	Unterlappen links	Hamartochondrom	Keine Komplikation	8
18.09.2001	Unterlappen rechts	Metastase	Pneumothorax	7
12.11.2001	Oberlappen rechts	Metastase	Keine Komplikation	17
27.11.2001	Unterlappen rechts	Granulom	Keine Komplikation	8
29.01.2002	Unterlappen rechts	Metastase	Einblutung	10
29.01.2002	Mittellappen	Metastase	Lokale Blutung	10
07.02.2002	Unterlappen links	Neuroendokriner Tumor	Minimaler Pneumothorax	8
18.04.2002	Oberlappen links	Hamartom	Minimaler Pneumothorax und Blutung	10
05.06.2002	Oberlappen rechts	Plattenepitelkarzinom	Minimaler Pneumothorax	10
10.06.2002	Oberlappen rechts	Adenokarzinom	Keine Komplikation	9
26.07.2002	Oberlappen links	Hamartom	Minimaler Pneumothorax	10
01.08.2002	Unterlappen rechts	Pneumonie	Keine Komplikation	<5
21.08.2002	Unterlappen rechts	Lungeninfarkt	Keine Komplikation	10
17.09.2002	Unterlappen links	Bronchialkarzinom	Keine Komplikation	15
26.09.2002	Mittellappen	Narbiges Emphysem	Keine Komplikation	9 u. 3
19.11.2002	Lingula	Metastase	Einblutung	50-120
23.12.2003	Unterlappen rechts	Adenokarzinom	Einblutung	13
14.01.2003	Unterlappen links	Granulom	Keine Komplikation	10
11.04.2003	Oberlappen rechts	Pneumonie	Einblutung	15
15.04.2003	Oberlappen rechts	Granulom	Keine Komplikation	5
22.04.2003	Unterlappen rechts	Bronchiolitis	Keine Komplikation	11
04.06.2003	Oberlappen rechts	Metastase	Keine Komplikation	10
11.07.2003	Unterlappen links	Adenokarzinom	Pneumothorax	10
04.09.2003	Oberlappen links	Adenokarzinom	Keine Komplikation	12
18.09.2003	Unterlappen rechts	Metastase	Pneumothorax	10

Untersuchungs- datum	Lokalisation	Histologie	Komplikation	Größe (mm) des Rundherdes
20.10.2003	Unterlappen links	Metastase	Keine Komplikation	7
28.10.2003	Mittellappen	Fibrose	Keine Komplikation	7
07.11.2003	Oberlappen links	Anthrakose	Pneumothorax	10
09.12.2003	Mittellappen	Karzinoid	Pneumothorax	5
16.12.2003	Oberlappen rechts	Metastase	Keine Komplikation	12
16.02.2004	Unterlappen rechts	Metastase	Keine Komplikation	10
10.02.2004	Unterlappen rechts	Lymphknoten	Pneumothorax	8
23.02.2004	Mittellappen	Metastase	Keine Komplikation	12
10.05.2004	Oberlappen rechts	Antrakose	Pneumothorax	5
11.06.2004	Unterlappen links	Adenokarzinom	Keine Komplikation	11

Kapitel 4

Ergebnis

Die maximale Dauer zwischen Drahtmarkierung und VATS betrug 13 Stunden. Bei 25 von insgesamt 54 Patienten traten Komplikationen auf, darunter 14 Fälle mit schmalen, nicht punktionswürdigen Pneumothoraces, drei Fälle mit zusätzlich kleinen Einblutungen, sowie acht Fälle mit ausschließlich kleinen Blutungen ohne Pneumothorax. Bei 29 Patienten traten keinerlei Komplikationen auf.

Der durchschnittliche Rundherddurchmesser betrug 1,31 cm bei einer durchschnittlichen Distanz von 0,79 cm zur Pleura visceralis.

In 13 Fällen ergab sich die Diagnose „primärer Tumor der Lunge“, in 14 Fällen „Metastasen“. In den übrigen Fällen handelte es sich um benigne Rundherde, unter diesen 3 Hamartome und 4 Anthrakosen (siehe Tab. 2).

In allen 54 Fällen wurde eine erfolgreiche präoperative Lokalisation durch die verwendeten Drahtmarkierungssysteme erreicht. Der die Operation durchführende Chirurg bezeichnete alle Markierungen als geeignet zur intraoperativen Lokalisation der entsprechenden Rundherde.

Differenzialdiagnosen der eigenen Patientendaten

1. Maligne Rundherde:

Plattenepithelkarzinom	5,5 %	3
Adenokarzinom	13 %	7
kleinzelliges Bronchialkarzinom	1,9 %	1
Bronchialkarzinom (undifferenziert)	3,7 %	2
Neuroendokriner Tumor der Lunge	3,7 %	2
Karzinoid	1,9 %	1
Metastasen	26 %	14

2. Benigne Rundherde

Hamartom	5,5 %	3
Hamartochondrom	1,9 %	1
alter Infarkt	1,9 %	1
narbiges Emphysem	1,9 %	1

3. Entzündliche Rundherde

Lungenfibrose	3,7 %	2
Anthrakose	7,4 %	4
Granulom	11 %	6
Hyalinose	1,9 %	1
Bronchiolit	1,9 %	1
Pneumonie	3,7 %	2
Lymphknoten	3,7 %	2

Kapitel 5

Diskussion

Die Diagnosestellung eines solitären Lungenrundherdes bleibt eine Herausforderung, da eine sichere histologische Identifikation erreicht werden muss, falls ein Malignitätsverdacht besteht. Nichtraucher unter 35 Jahre mit einem Rundherd unter 1 cm Durchmesser haben ein Malignitätsrisiko von 1 % [64]. Im Gegensatz dazu beträgt das Malignitätsrisiko über 95 % bei einem Rundherd-Durchmesser von 3 cm, wenn es sich um Raucher über 65 Jahre handelt [11].

Eine Vielzahl von diagnostischen Verfahren wird derzeit zur Abklärung des solitären Lungenrundherdes herangezogen. Neben der Kontrolle im Verlauf mittels Thoraxübersichtsaufnahmen sind invasive Verfahren wie die perkutane Feinnadelaspiration, bronchoskopische Lavage, thorakoskopische Resektion und offene Operation mit Lobektomie oder Pneumektomie gebräuchlich. Eine definitive Diagnose der Pathologie des solitären Rundherdes ist Voraussetzung für eine adäquate Therapie. Bevor eine potentiell kurative chirurgische Maßnahme bei einem Patienten mit neu diagnostiziertem Karzinom ergriffen wird, muss eine Metastasierung ausgeschlossen werden.

Die videoassistierte thorakoskopische Operationstechnik ist 10 bis 15 Jahre nach ihrer weltweiten klinischen Einführung von großer Bedeutung. Bei ausschließlich diagnostischer Indikation hat sie die Thorakotomie fast völlig abgelöst [21]. Sie ist das entscheidende Bindeglied der interdisziplinären Diagnostik pulmonaler Rundherde geworden, denn die sichere Diagnose und gleichzeitig komplette Entfernung des Rundherdes ist von einer geringen Beeinträchtigung des Patienten begleitet. Alle weiteren Optionen bleiben danach offen. Bei Ausschluss von Malignität kann jede zusätzliche Intervention definitiv vermieden werden. Andererseits kann nach intraoperativem Schnellschnitt-Ergebnis der histologischen Aufarbeitung des atypischen Resektates die Operation einzeitig mit oder ohne Konversion zu einer klassischen Lobektomie mit standardgemäßer Lymphadenektomie weitergeführt werden. Dies bleibt jedoch zurzeit ausschließlich klinischen Studien bei ausgewählten Patienten vorbehalten, da die onkologischen Prinzipien der Thoraxchirurgie strikt berücksichtigt werden müssen [56]. Zahlreiche weitere therapeutische Indikationen der VATS wurden durch die zunehmende Erfahrung mit dieser Technik in den vergangenen Jahren erschlossen [7], [40].

Sie ist nunmehr das Verfahren der Wahl zur Lungenbiopsie bei interstitiellen Erkrankun-

gen und unklaren peripheren Rundherden sowie zur Abklärung intrapleuraler Flüssigkeitsansammlungen und primär pleuraler Erkrankungen. Auch in therapeutischer Absicht, von der Empyemdrainage bis hin zu anatomischen Lungenresektionen, wird die VATS eingesetzt.

Die vorher erwähnten Vorteile der VATS gegenüber der offenen Thorakotomie sind:

- komplikationsarme Durchführung
- geringe Schmerzbelastung
- kosmetischer Nutzen
- reduzierter Dauer von Operation, Krankenhausaufenthalt und Rekonvaleszenz
- reduzierte Kosten

Die breite Anwendung der VATS, die in thoraxchirurgischen Zentren etwa 20-25 % aller Eingriffe ausmacht, beruht im Wesentlichen auf der Erfahrung, dass die Morbidisierung des Patienten im Vergleich zur offenen Thorakotomie bedeutend geringer ist [21]. Die Aussicht auf eine Diagnosesicherung eines unklaren Rundherdes durch Bronchoskopie mit transbronchialer Biopsie ist gering [12]. Die Sensitivität der transthorakalen Feinnadel- oder Schneidebiopsie wird mit bis zu 95 % angegeben [69], korreliert jedoch auffällig mit dem Rundherddurchmesser und der Erfahrung des Untersuchers. Darüber hinaus stellten sich feinnadelbiopsisch als benigne ermittelte Rundherde in bis zu 11 % als letztlich maligne heraus [32].

Unter dem Eindruck dieser Daten ist eine Abklärung unklarer Rundherde durch VATS stets erforderlich.

Bei Vorliegen multipler Rundherde, die aufgrund ihrer Zahl und Lage ohnehin nicht vollständig resektabel erscheinen, ist die VATS mit Resektion eines repräsentativen Bezirks in diagnostischer Absicht gerechtfertigt, sofern eine therapeutische Konsequenz resultieren könnte.

Nach wie vor problematisch stellt sich jedoch auch bei der VATS-Technik die intraoperative Lokalisierung des Rundherdes dar, da eine ausreichend sichere Palpation im Lungengewebe nicht möglich ist. Um also kleine Lungenherde zu lokalisieren und sicher zu entfernen, ist der Thoraxchirurg darauf angewiesen, sich an einer präoperativ eingebrachten Markierung orientieren zu können. Hierbei gilt insbesondere zu beachten, dass die Lunge während der Operation kollabiert ist.

Der zu entfernende Rundherd muss also vor der Operation speziell und sicher markiert werden. Vor der thorakoskopischen Resektion hat sich aus diesem Grund in den letzten Jahren die CT-gesteuerte Markierung von Rundherden etabliert. Anhand dieser kann der Chirurg den suspekten Rundherd sicher lokalisieren.

Die Beurteilung solitärer Lungentumore ist durch die Entwicklung der minimal invasiven Resektion mittels der kombinierten endoskopischen Intervention und computertomographisch (CT-)gestützten perkutanen Drahtmarkierung entschieden verbessert worden [59], [4]. Zwar lässt sich mit Hilfe der Drahtmarkierung die Mehrzahl der Läsionen gut lokalisieren, doch werden hierzu Drähte verwendet, die für die Markierung von Brustgewebe

entwickelt wurden. Da Lungengewebe weitaus weniger dicht ist als Brustgewebe, neigen diese Drähte dazu, während des Eingriffs zu verrutschen, wodurch eine umfangreichere Resektion bzw. offene Thorakotomie erforderlich wird [52].

Bei der präoperativen Drahtmarkierung, die unseres Wissens erstmals von Mack et al. [45] beschrieben wurde, wird unter CT-Kontrolle ein Draht in oder neben einen Lungentumor platziert, der dem Operateur zum Auffinden der Läsion bei der videogestützten Thoraxintervention dient. Das Verfahren ist von verschiedenen Autoren beschrieben und modifiziert worden [42], [25]. Dowling et al. [54] markierten in 13 Fällen besonders kleine Herde transthorakal CT-gezielt mit Nadel und Methylenblau. Maniwa et al. [83] berichteten anhand von Einzelfällen über Vorteile bei der endoskopischen Herdextirpation nach vorheriger CT-gezielter Drahtmarkierung. Theate et al. [17] markierten in 101 Fällen mit einem speziellen Hakendraht. Besonders kritisch kann jedoch bei dieser Methode ein unbeobachtetes intrapulmonales Verbleiben eines Drahtoder Hakenfragmentes werden [53]. Daher muss eine adäquate interdisziplinäre Kommunikation und eine umfassende postoperative Kontrolle (mindestens konventioneller Thorax, postoperative Präparate-Radiographie, gegebenenfalls Thorax-CT) in allen Fällen gefordert werden.

Die Markierung mit Methylenblau ist eine kurzlebige Methode, deswegen muss die VATS innerhalb von drei Stunden durchgeführt werden. Ein weiterer Nachteil dieser Methode: Wenn zu viel Farbstoff injiziert wird, verteilt sich die Färbung auf der Lungenoberfläche, so dass keine Lokalisierung des Rundherdes ermöglicht wird. [19].

Dem gegenüber haben von Nomori et al. [24] eine Technik mit Injektion von Methylenblau, Kontrastmittel und zusätzlich Kollagen beschrieben, welche es ermöglicht, die Markierung mehrere Stunden sichtbar zu halten. Aus Japan stammt die Methode der Einlage einer Metall-Feder-Spirale, welche über eine Hohnadel eingeführt wird. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass nur recht oberflächlich pleural gelegene Läsionen markiert werden können. Es werden insbesondere subpleurale Herde sowie zystische Prozesse mit dieser Methode lokalisiert. Aus den genannten Gründen erscheint uns die präoperative CT-gesteuerte Drahtmarkierung als das praktikabelste und vor allem zur genauen Markierung eines Lungenrundherdes sicherste Verfahren. Mögliche Komplikationen dieser Methode liegen offenbar: Pneumothorax, lokale Blutung sowie pleurale Schmerzen. Zu beachten ist insbesondere, dass eine Zugbelastung auf den extrathorakalen Draht vermieden werden sollte, da sonst eine Dislokation des Markierungsdrahtes die Folge sein kann. Zur Verlagerung kann es zu drei Zeitpunkten kommen: Zum einen beim Transport des Patienten in den OP (durch Bewegung der Brustwand und des Schultergürtels relativ zur Lunge). Zum anderen während des Eingriffs bei der Deflation der Lunge, wobei eine beträchtliche Reibung zwischen dem Draht und der Brustwand auftreten kann, so dass der Draht bei Bewegung durch die Brustwand dort hängenbleibt und sich so die Spitze in der Lunge verschiebt. Drittens kann sich der Draht während der Resektion verlagern, da der Chirurg in der Regel einen leichten Zug am Draht zwecks besseren Zugangs zum Resektionssitus und Erleichterung der Gewebeentfernung ausübt. In unserem Patientenkollektiv traten keine Drahtdislokationen auf. Außer Drahtmarkierung und Methylenblauinjektion sind für CT-gesteuerte Eingriffe neu entwickelte Zielhilfen in Gebrauch. Dazu gehören Laserzielhilfen unterschiedlicher Bauart und stereotaktische Verfahren bis hin zur CT-Fluoroskopie.

Als ein mögliches Verfahren der Zukunft kann der von den Japanern Ohtsuka et al. elektromechanisch arbeitende „taktile Sensor“ dienen [79].

Vielversprechender scheint die intraoperative Ultraschall-Untersuchung mit kleinen 7,5 MHz-„linear-array“-Schallköpfen, welche bei einem Außendurchmesser von ca. 1 cm und einer Länge von 5 cm eine schnelle und umfassende Untersuchung der während der VATS kollabierten Lunge ermöglichen. Der durchschnittliche Zeitaufwand liegt bei 10 plusminus 4 Minuten. Methodische Nachteile bestehen bei möglichen intrapulmonalen Luftüberlagerungen, welche eine Schallauslöschung bzw. -reflektionen verursachen. Gleichfalls ist die Betrachtung der Unterlappen bei mangelnder Flexibilität der Sondenspitze, welche trotz maximaler Abkipfung des Sondenschaftes einen Einblick in den spitzen Winkel der Unterlappen nicht gestattet, eingeschränkt [61].

Da all die obengenannten Verfahren derzeit noch nicht zur standartmäßigen Anwendung gelangt sind, kann als Schlussfolgerung letztlich der Wert der Spiraldrahtmarkierung als geeignetes, komplikationsarmes und kostengünstiges Verfahren zur präoperativen Markierung von solitären pulmonalen Rundherden für die videoassistierte thorakoskopische Resektion hervorgehoben werden [14], [67], [16] .

Literaturverzeichnis

- [1] AF., Willard ; AAMIR. ; SIDDIQUI. ; JM., Pensler ; H, Mostafavi: Thoracic im-plantation of cancer with fatal outcome. In: *Ann Thorac Surg* (1995), Nr. 59, S. 42–45
- [2] AL., Landreneau R.: Postoperativ pain-related morbidity: videoassisted thoracic sur-gery versus thoracotomy. In: *Ann Thoracic Surg* (1993), Nr. 56, S. 1285–1289
- [3] AL., Meyer G.: Die Video-Thorakoskopische atypische Lungenresektion. In: *Zentral-blatt für Chirurgie* (1993), Nr. 188, S. 549–559
- [4] BF., Mullan ; W., Stanford ; W., Barnhart ; JR., Galvin: Lung Nodules: Improved Wire for CT-guided Localization. In: *Radiology* (1999), Nr. 211, S. 561–565
- [5] BK., Baker ; EE., Awwad: Computed tomography of fatal cerebral air embolism following percutaneous aspiration biopsy of the lung. In: *J Comput Assist Tomogr* (1988), Nr. 12, S. 1082–1083
- [6] COSTELLO, P. ; ANDERSON, W. ; BLUME, D. ; PULMONARY: nodule: evaluation with spiral volumetric CT. *Radiology*. Jahrgang 3 (1991), Nr. 179, S. 875–876
- [7] D., Waller ; J., Forty ; G., Morritt: Video-assisted thoracoscopic surgery versus thoracotomy for spontaneous pneumothorax. In: *Ann Thorac Surg* 2 (1994), Nr. 58, S. 372–376
- [8] DESLAURIERS, J. Current: surgical treatment of nonsmall cell lung cancer 2001. In: *Eur Respir J Suppl* (2002), Nr. 35, S. 61–71
- [9] E., Dajezman ; A., Gordon ; H., Kreisman ; N., Wokove: Long term postthoracotomy pain. In: *Chest* (1991), Nr. 99, S. 270–274
- [10] E., Zerhouni ; F., Stitik ; S., Siegelman ; AL. et: CT of the pulmonary nodule: a cooperative study. In: *Radiology* Jahrgang 2 (1986), Nr. 160, S. 319–327
- [11] EA., Zerhouni ; FP., Stikik ; SS., Siegelman: CT of the pulmonary nodule: a coope-rative study. In: *Radiology* (1986), Nr. 160, S. 319

- [12] EC., Fletcher ; DC., Levin: Flexible fiberoptic bronchoscopy and fluoroscopically guided transbronchial biopsy in the management of solitary pulmonary nodules. In: *West J Med* (1982), Nr. 136, S. 47
- [13] ERASMUS, J. ; CONNOLLY, J. ; MCADAMS, V.: Solitary pulmonary nodules: Part I. Morphologic evaluation for differentiation of benign and malignant lesions. In: *Radiographics* Jahrgang 3 (2000), Nr. 20, S. 43–58
- [14] F., Eckersberger: Leitlinien zur minimalinvasiven Chirurgie in der onkologischen Thoraxchirurgie. In: *Langenbecks Arch Chir Suppl* (1997), Nr. 2, S. 246–250
- [15] F., Fischbach ; F., Knollmann ; V., Griesshaber ; T., Freund ; E., Akkol ; R., Felix: Detection of pulmonary nodules by multislice computed tomography: improved detection rate with reduced slice thickness. In: *Eur Radiol* Jahrgang 10 (2003), Nr. 13, S. 2378–2383
- [16] F., Kniep ; P., Rogalla: Markierungsdraht für Weichteiltumore Deutsches Patent. In: *DE* (1999), Nr. 161, S. 199 53 403
- [17] FL., Thaete ; MS., Peterson ; MB., Plunkett ; PF., Ferson ; RJ., Keenan ; RJ., Landreneau: Computed tomography-guided wire localization of pulmonary lesions before thoracoscopic resection: results in 101 cases. In: *J Thorac Imaging* 2 (1999), Nr. 14, S. 90–98
- [18] FP., Poretti ; E., Brunner ; D., Vorwerk: Einfache Lokalisation von intrapulmonalen Rundherden - CT-gesteuerte perkutane Hakenmarkierung Rofo Fortschr Geb Rontgenstr. In: *Neuen Bildgeb Verfahr* Jahrgang 2 (2002), Nr. 174, S. 202
- [19] FX., Lenglinger ; CD., Schwarz ; W., Artmann: Localization of pulmonary nodules before thoracoscopic surgery: value of percutaneous staining with methylene blue. In: *AJR* (1994), Nr. 163, S. 297–300
- [20] GALANSKI, M. ; M., Prokop: *Ganzkörpercomputertomographie*. Thieme Verlag. 1998
- [21] H., Dienemann ; H., Hoffmann: Chancen der endoskopischen Thoraxchirurgie und ihre Grenzen. In: *Chirurg* 4 (2003), Nr. 74, S. 324–332
- [22] H., Dienemann ; H., Hoffmann: Endoscopic thoracic surgery: indications, feasibility, and limitations. In: *Chirurg* Jahrgang 4 (2003), Nr. 74, S. 324–332
- [23] H., Li ; P., Boisselle ; JO., Shepard ; B., Trutman-Dickenson ; TC, McLoud: diagnostic accuracy and safety of CT-guided percutaneous needle aspiration biopsy of the lung: comparison of small and large pulmonary nodules. In: *Am J Roentgenol* Jahrgang 1 (1996), Nr. 167, S. 105–109
- [24] H., Nomori ; H., Horio: Colored collagen is a long-lasting point marker for small pulmonary nodules in thoracoscopic operations. In: *Ann Thorac Surg* 4 (1996), Nr. 61, S. 1070–1073

- [25] H., Shennib: Intraoperative localization techniques for pulmonary nodules. In: *Ann Thorac Surg* (1993), Nr. 56, S. 745–748
- [26] HC., Jacobaeus: Über die Möglichkeit, die Zystoskopie bei Untersuchungen seröser Hohlräumen anzuwenden. In: *Münch Med Wochenschr* (1910), Nr. 57, S. 2090–2092
- [27] HC., Jacobaeus: Die Thoarakoskopie und ihre praktische Bedeutung. In: *Dtsch. Med. Wochenschrift* (1925), Nr. 7, S. 112–166
- [28] JL., Westcott: Air embolism complicating percutaneous needle biopsy of the lung. In: *Chest* (1973), Nr. 63, S. 108–110
- [29] JL, Westcott: Direct percutaneous needle aspiration of localized pulmonary lesions: results in 422 patients. In: *Radiology* (1980), Nr. 137, S. 31–35
- [30] JL, Westcott: Direct percutaneous needle aspiration of localized pulmonary lesions: results in 422 patients. In: *Radiology* (1980), Nr. 137, S. 31–35
- [31] JL, Westcott: Percutaneous needle aspiration of hilar and mediastinal masses. In: *Radiology* (1981), Nr. 141, S. 323–329
- [32] JL., Westcott: Percutaneous transthoracic needle biopsy. In: *Radiology* (1988), Nr. 169, S. 593
- [33] JO., Shepard ; JM., Douglas ; VV., Muse ; M., Bhalla ; T., McLoud: Needle localization of peripheral lung nodules for video-assisted thoracoscopic surgery. In: *Chest* (1994), Nr. 105, S. 1559–1563
- [34] K., Marten ; E., Grabbe: The challenge of the solitary pulmonary nodule: diagnostic assessment with multislice spiral CT. In: *Clin Imaging Jahrgang 3* (2003), Nr. 27, S. 156–161
- [35] K., Semm: Endoscopic appendectomy. In: *Endoscopy* (1983), Nr. 15, S. 59–64
- [36] K., Suzuki ; H., Asamura ; M., Kusumoto ; H., Kondo ; R., Tsuchiya: Early peripheral lung cancer: prognostic significance of ground glass opacity on thin-section computed tomographic scan. In: *Ann Thorac Surg Jahrgang 5* (2002), Nr. 74, S. 1635–1639
- [37] K., Suzuki ; K., Nagai ; AL., Yoshida J.: Prognostic factors in clinical stage I nonsmall cell lung cancer. In: *Ann Thorac Surg Jahrgang 4* (1999), Nr. 67, S. 927–932
- [38] KO, J. ; NAIDICH, D.: Lung nodule detection and characterization with multislice CT. In: *Radiol Clin North Am Jahrgang 3* (2003), Nr. 41, S. 575–597
- [39] KP., Klassen ; NC., Andrews: Biopsy of diffuse pulmonary lesions. A seventeen-year experience. In: *Ann Thorac Surg Jahrgang 2* (1967), August, Nr. 4, S. 117–124

- [40] M., Wait ; S., Sharma ; J., Hohn ; N.A., Dal: A randomized trial of empyema therapy. In: *Chest* 6 (1997), Nr. 111, S. 1548–1551
- [41] M.B., Plunkett ; M.S., Peterson ; R.J., Landreneau ; P.F., Ferson ; M.C., Posner: Peripheral pulmonary nodules: preoperative percutaneous needle localization with CT guidance. In: *Radiology* Jahrgang 1 (1992), Nr. 185, S. 274–276
- [42] MB., Plunkett ; MS., Peterson ; R.J., Landreneau ; PF., Ferson ; MC, Posner: Peripheral pulmonary nodules: preoperative percutaneous needle localization with CT guidance. In: *Radiology* (1992), Nr. 185, S. 274–276
- [43] MF, Jimenez: Prospective study on video-assisted thoracoscopic surgery in the resection of pulmonary nodules: 209 cases from Spanish video-assisted thoracic surgery group. In: *Eur J Cardiothorac Surg* (2001), Nr. 19, S. 562–565
- [44] MJ., Kransa ; S., Deshmukh ; JS., McLaughlin: Complications of thoracoscopy. In: *Ann Thorac Surg* (1996), Nr. 61, S. 1066–1069
- [45] MJ., Mack ; MJ., Gordon ; AL., Postma T.: Percutaneous localization of pulmonary nodules for thoracoscopic lung resection. In: *Ann Thorac Surg* (1992), Nr. 53, S. 1123–1124
- [46] MS., Foschag ; D., Allen ; J., Cooper: Postoperativ care of the thoracotomy patient. In: *Clinics in Chest Medicine* Jahrgang 1 (1992), Nr. 13, S. 33–41
- [47] N., Pridun ; W., Heindl: *Die endoskopische Fibrinpleurodese beim komplizierten Pneumothorax*. Herz-Thorax-Gefäßchirurgie. 1987. – 42–45 S
- [48] NF., Khouri ; FP., Stitik ; YS., Erozan ; PK., Gupta ; WS., Kim ; WW., Scott jr. ; UM., Hamper ; RB., Mann ; RR, Eggleston B.: Transthoracic needle aspiration biopsy of benign and malignant lung lesions. In: *AJR* (1985), Nr. 144, S. 281–288
- [49] NL., Miller ; CJ., Bergin ; RR., Miller ; DN., Ostrow: Seeding of malignant cells into the needle track after lung and pleural biopsy. In: *J Can Assoc Radiol* (1986), Nr. 37, S. 192–194
- [50] P., Mouret: How I developed laparoscopic cholecystectomy. In: *Ann Acad Med* Jahrgang 5 (1996), August, Nr. 25, S. 744–747
- [51] P., Rogalla ; C., Enzweiler ; E., Schmidt ; M., Taupitz ; A., Bender ; B., Hamm: Thoraxdiagnostik mit der Elektronenstrahl-Computertomographie. Radiologe. In: *Radiologe* Jahrgang 12 (1998), Nr. 38, S. 1029–1035
- [52] PA., Templeton ; M., Krasna: Localization of pulmonary nodules for thorascopic resection: use of needle/wire breast biopsy system. In: *AJR* (1993), Nr. 160, S. 761–762

- [53] PS., Davis ; R.J., Echler ; S.A., Feig ; D.E., March: Migration of breast biopsy localization wire. In: *Am J Roentgenol* (1988), Nr. 150, S. 787–788
- [54] R., Dowling ; R., Keenan ; P., Ferson ; R., Landreneau: Video-assisted thoracoscopic resection of pulmonary metastases. In: *Ann Thorac Surg* (1993), Nr. 56, S. 772–775
- [55] R., Erlemann ; A., Zimmerschied ; F., Gilger ; M., Schröder: Stanzbiopsie oder Feinnadelaspirationsbiopsie bei der perkutanen Lungenpunktion? In: *Radiologe* (1998), Nr. 38, S. 126–134
- [56] R., Ginsberg ; N., Martini: *Non-small cell lung cancer, surgical management*. Chirurg. 2002
- [57] R., Häring ; H., Zilch: *Chirurgie, 4. völlig bearbeitete und erweiterte Auflage*. Walter de Gruyter Verlag. 1997. – 257–260 S
- [58] R., Interbitzi: *Chirurgische Thorakoskopie*. Springer-Verlag. 1993. – 161 S
- [59] R., Klöppel ; T., Friedrich ; U., Eichfeld ; W., Wilke ; T., Kahn: CT gesteuerte Lungenherdmarkierung vor minimalinvasiver Operation. In: *Radiologe* (2001), Nr. 41, S. 201–204
- [60] R., McKenna: Lobectomy by video-assisted thoracic surgery with mediastinal node sampling for lung cancer. In: *J Thorac Cardiovasc Surg* (1994), Nr. 107, S. 879–882
- [61] R., Santambrogio ; M., Montorsi ; P., Bianchi ; A., Mantovani ; F., Ghelma ; M., Mezetti: Intraoperative ultrasound during thoracoscopic procedures for solitary pulmonary nodules. In: *Ann Thorac Surg* (1999), Nr. 68, S. 218–222
- [62] R., Wittmoser: Fehler und Gefahren der thorakoskopischen Denervation. In: *Chir. Praxis* Jahrgang 1 (1961), S. 79–92
- [63] R.A., Dieter ; G.B., Kuzycz: Complications and contraindications of thoracoscopy. In: *Int Surg* (1997), Nr. 82, S. 232–239
- [64] R.G., Fraser ; J.A.P., Pare ; P.D., Pare: *The solitary pulmonary nodule. Diagnosis of disorders of the chest*. Bd. Jahrgang 2. WB Saunders. 1989
- [65] R.J., Downey: Complications after videoassisted thoracic surgery. In: *Chest Surg Clin North Am* (1998), Nr. 8, S. 907–917
- [66] R.J., Lewis: Perspectives in the evolution of video-assisted thoracic surgery. In: *Chest Surgery Clinics of North America* Jahrgang 3 (1993), S. 207–213
- [67] R.M., Shah ; P.W., Spirn ; A.M., Salazar ; R.M., Steiner: Localization of peripheral pulmonary nodules for thoracoscopic excision: value of CT-guided wire placement. In: *AJR* (1993), Nr. 161, S. 279–283

- [68] RP., Gobien ; EA., Bouchard ; BS., Gobien ; JF., Valicenti ; I., Vujic: Thin needle aspiration biopsy of thoracic lesions: impact on hospital charges and patterns of patient care. In: *Radiology* (1983), Nr. 148, S. 65–67
- [69] RW., Viggiano ; SJ., Swensen ; EC., Rosenow: Evaluation and management of solitary and multiple pulmonary nodules. In: *Clin Chest Med* (1992), Nr. 13, S. 83
- [70] RÜBE, W. ; SEEELKEN, K: *Rundherde der Lunge. Röntgenologische Differentialdiagnostik*. Thieme Verlag. 1975. – 305–374 S
- [71] S., Siegelman ; N., Khouri ; F., Leo ; E., Fishman ; R., Braverman ; SOLITARY, Zerhouni E.: pulmonary nodules: CT assessment. In: *Radiology* Jahrgang 2 (1986), Nr. 160, S. 307–312. ISBN 160(2):307–12
- [72] S., Swensen ; K., Yamashita ; C., McCollough ; AL. et: Lung nodules: dual-kilovolt peak analysis with CT-multicenter study. In: *Radiology* Jahrgang 1 (2000), Nr. 214, S. 81–85. ISBN 214(1):81–5
- [73] S., Swensen ; M., Silverstein ; D., Ilstrup ; C., Schleck ; E., Edell: The probability of malignancy in solitary pulmonary nodules. Application to small radiologically indeterminate nodules. In: *Arch Intern Med* Jahrgang 8 (1997), Nr. 157, S. 849–855
- [74] SCHIL P. van: Cost analysis of video-assisted thoracic surgery versus thoracotomy: critical review. In: *Eur Respir J* Jahrgang 5 (2003), Nr. 22, S. 735–738
- [75] SJ., Mentzer ; AL, Malcolm M.: Thoracoscopy and video-assisted thoracic surgery in the treatment of lung cancer. In: *Chest* (1995), Nr. 107, S. 298–301
- [76] SM., Moinuddin ; LH., Lee ; JH, Montgomery: Mediastinal needle biopsy. In: *AJR* (1984), Nr. 143, S. 531–532
- [77] SONNENBERG E. van ; AS., Lin ; AL., Deutsch ; RF., Mattrey: Percutaneous biopsy of difficult mediastinal, hilar and pulmonary lesions by computed tomographic guidance and a modified coaxial technique. In: *Radiology* (1993), Nr. 148, S. 300–302
- [78] SONNENBERG E. van ; G., Casola: Difficult thoracic lesions: CT-guided biopsy experience in 150 cases. In: *Radiology* (1988), Nr. 167, S. 457–461
- [79] T., Ohtsuka ; A., Furuse ; T., Kohno ; J., Nakajima ; K., Yagyu ; S., Omata: Application of a new tactile sensor to thoracic surgery: Experimental and clinical study. In: *Ann Thorac Surg* (1995), Nr. 60, S. 610–614
- [80] TL., Tolly ; JE., Feldmeier ; D., Czarnecki: Air embolism complicating percutaneous biopsy. In: *AJR* (1988), Nr. 150, S. 555–556
- [81] VW., Rusch ; AL., Bains M.: Contribution of videothoracoscopy to the management of cancer patients. In: *Surg Oncol* Jahrgang 2 (1994), Nr. 1, S. 91–92

- [82] W., Kucharczyk ; GL., Weisbrod ; JD., Cooper ; T., Todd: Cardiac tamponade as a complication of thin-needle aspiration of the lung. In: *Chest* (1982), Nr. 82, S. 120–121
- [83] Y., Maniwa ; M., Okada ; H., Yamamoto ; M., Kanki ; K, Kiyooka: An availability of videoassisted thoracic surgery for the resection of pulmonary metastases. In: *Respirology* (2000)

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Betreuer, Herrn Dr. Rogalla und meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Hamm, bedanken. Sie haben es mir ermöglicht, meine Dissertation an der Humboldt Universität Berlin, zu schreiben. Gedankt sei insbesondere Jens Rudolph für die Korrekturen, fachlichen Gespräche und für kritische Anmerkungen beim Lesen einer ersten Fassung des Manuskripts.

Esther Anne Adrian, Christian Bauknecht danke ich für die Textkorrekturen, Aras S.Kubilay und Alexander Kochan für ihre Hilfe bei der graphischen Gestaltung der Doktorarbeit.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen Angehörigen des Instituts für Radiologie, besonders danke ich Gesa Matnjani und Alexander Pöllinger für die gute Zusammenarbeit und freundschaftlich verbrachte Zeit in Berlin. Bei Sam Haywood und Sebastian Heiner sowie bei Gökhan Tuncer möchte ich mich bedanken für ihre freundschaftliche Unterstützung. Besonders möchte ich mich noch bei meiner Familie bedanken, die immer für mich da war.

Herzlichen Dank!

Selbständigkeitserklärung

Hiermit möchte ich bestätigen, dass die Dissertation von mir selbst und ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfaßt wurde, auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten darstellt und die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur vollständig angegeben sind.